# Préoccupations sur les effets des précipitations acides sur le poisson et son habitat au Québec

C. Langlois, Y. Vigneault, A. Nadeau et A. Ahern.

Direction de la Recherche sur les Pêches
Ministère des Pêches et des Océans
901 Cap Diamant C. P. 15500
Québec (Québec) G1K 7Y7

Mars 1984

**Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques No 1753**

85-5197/

## Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports manuscrits contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui traitent de problèmes nationaux ou régionaux. La distribution en est limitée aux organismes et aux personnes de régions particulières du Canada. Il n'y a aucune restriction quant au sujet, de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports manuscrits peuvent être cités comme des publications complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports manuscrits sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

Les numéros 1 à 900 de cette série ont été publiés à titre de manuscrits (série biologique) de l'Office de biologie du Canada, et après le changement de la désignation de cet organisme par décret du Parlement, en 1937, ont été classés comme manuscrits (série biologique) de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 901 à 1425 ont été publiés à titre de rapports manuscrits de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 1426 à 1550 sont parus à titre de rapports manuscrits du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 1551.

Les rapports manuscrits sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

## Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Manuscript reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which deals with national or regional problems. Distribution is restricted to institutions or individuals located in particular regions of Canada. However, no restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Manuscript reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

Numbers 1 900 in this series were issued as Manuscript Reports (Biological Series) of the Biological Board of Canada, and subsequent to 1937 when the name of the Board was changed by Act of Parliament, as Manuscript Reports (Biological Series) of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 901 1425 were issued as Manuscript Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 1426 1550 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Manuscript Reports. The current series name was changed with report number 1551.

Manuscript reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport manuscrit canadien des
Sciences halieutiques et aquatiques
No 1753

Mars 1984

# PRÉOCCUPATIONS SUR LES EFFETS DES PRÉCIPITATIONS ACIDES SUR LE POISSON ET SON HABITAT AU QUÉBEC

par

C. Langlois[1], Y. Vigneault[1], A. Nadeau[2], et A. Ahern[3]

Direction de la Recherche sur les Pêches
Ministère des Pêches et des Océans
C.P. 15 500
901 Cap Diamant
QUÉBEC (Québec)
G1K 7Y7

1 Ministère des Pêches et des Océans, 901 Cap Diamant, Québec, P.Q. G1K 7Y7

2 Biologiste-Consultant, 2485, rue Royale, St-Féréol-Les-Neiges, P.Q. G0A 1R3

3 Biologiste-Consultant, 2845, rue Poitiers, Sainte-Foy, P.Q. G1W 2B7

Rapport manuscrit canadien des
Sciences halieutiques et aquatiques
No 1753

Mars 1984

# PRÉOCCUPATIONS SUR LES EFFETS DES PRÉCIPITATIONS ACIDES SUR LE POISSON ET SON HABITAT AU QUÉBEC

par

C. Langlois[1], Y. Vigneault[1], A. Nadeau[2], et A. Ahern[3]

Direction de la Recherche sur les Pêches
Ministère des Pêches et des Océans
C.P. 15 500
901 Cap Diamant
QUÉBEC (Québec)
G1K 7Y7

1 Ministère des Pêches et des Océans, 901 Cap Diamant, Québec, P.Q. G1K 7Y7

2 Biologiste-Consultant, 2485, rue Royale, St-Féréol-Les-Neiges, P.Q. G0A 1R3

3 Biologiste-Consultant, 2845, rue Poitiers, Sainte-Foy, P.Q. G1W 2B7

## PRÉFACE

Ce mémoire a été présenté devant les membres du sous-comité sur les pluies acides du comité permanent des Pêches et des Forêts. Ce sous-comité, formé de députés-membres de la Chambre des Communes d'Ottawa, tenait le 16 mars 1984 à Québec une séance de consultation publique sur les effets des pluies acides sur l'environnement. Le ministère des Pêches et des Océans, qui poursuit au Québec depuis 1981 un programme de recherche sur les effets des précipitations acides sur le milieu aquatique, a présenté, lors de ces audiences publiques, ses préoccupations en ce qui regarde la protection du poisson et de son habitat. Ce document reproduit intégralement le mémoire soumis lors de cette consultation publique.

Ministère des Approvisionnements et Services Canada 1984
No de catalogue FS 97-4/1753 ISSN 0706-6589

On devra se référer comme suit à cette publication:

Langlois, C., Y. Vigneault, A. Nadeau, et A. Ahern, 1984. Préoccupations sur les effets des précipitations acides sur le poisson et son habitat au Québec. Rapp. man. can. sci. halieut. aquat. No 1753: v + 19 p.

# TABLE DES MATIÈRES


Page

LISTE DES ANNEXES ..... iv

RÉSUMÉ - ABSTRACT ..... v

AVANT PROPOS ..... 1

INTRODUCTION ..... 1

LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES LACS ET DES RIVIÈRES DU QUÉBEC ..... 1

LES EFFETS DE LA MODIFICATION DE LA QUALITÉ DES HABITATS AQUATIQUES SUR LES COMMUNAUTÉS BIOLOGIQUES ..... 3

L'IMPACT DE L'ACIDIFICATION SUR LA REPRODUCTION ET LA SURVIE DES POPULATIONS DE POISSONS ..... 4

LA TOXICITÉ DES MÉTAUX SUR LES POISSONS DANS DIFFÉRENTES CONDITIONS DE STRESS ACIDE ..... 5

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS ..... 6

REMERCIEMENTS ..... 7

BIBLIOGRAPHIE ..... 7

ANNEXES ..... 10

## LISTE DES ANNEXES

Page

ANNEXE 1. Interaction entre la recherche et les principaux domaines de préoccupations sur les précipitations acides ..... 11

ANNEXE 2. Force de frappe des précipitations acides au Québec méridional (tiré de CANSAP 1980) ..... 12

ANNEXE 3. Effets des précipitations acides sur la physico-chimie des lacs (tiré de Langlois et coll., 1983 et 1984) ..... 13

ANNEXE 4. pH printanier des rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent (source: Ministère des Pêches et des Océans, région du Québec, données non publiées) ..... 14

ANNEXE 5. Influence du pH sur le nombre d'espèces de poissons par lac (source: Ministère des Pêches et des Océans/Service canadien de la faune/IEC. Beak Consultants Ltd., données non publiées) ..... 15

ANNEXE 6. Abondance comparative du doré dans l'ouest du Québec (tiré de Nadeau, 1983) ..... 16

ANNEXE 7. Abondance relative de différents groupes de zooplancton en fonction du pH (tiré de Langlois et coll., 1983) ..... 17

ANNEXE 8. Toxicité létale de l'aluminium pour le saumon atlantique et la truite mouchetée (tiré de Van Coillie et coll., 1983) ..... 18

ANNEXE 9. Répartition du nombre d'études sur les précipitations acides par région (tiré de Environnement Canada, 1983) ..... 19

## RÉSUMÉ

Langlois, C., Y. Vigneault, A. Nadeau et A. Ahern. 1984. Préoccupations sur les effets des précipitations acides sur le poisson et son habitat au Québec. Rapp. man. can. sci. halieut. aquat. No. 1753: v + 19 p.

Le ministère des Pêches et des Océans poursuit, depuis 1981, un programme de recherche sur les effets des précipitations acides sur l'habitat du poisson au Québec. À la lumière des inventaires effectués à date, il apparaît clairement que la qualité des habitats du poisson est modifiée par les dépôts acides dans les lacs de plusieurs régions du Québec et dans les rivières à saumons de la Côte-Nord. Des études expérimentales, in situ et en laboratoire, ont par ailleurs confirmé la vulnérabilité des populations de salmonidés. Chez l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis), le taux de mortalité abiotique des oeufs en milieu acide (pH = 4,8) atteint 100% alors qu'il n'est que de 15% en milieu témoin (pH = 6,8). Dans des conditions contrôlées en laboratoire, la toxicité de l'aluminium pour le saumon atlantique (Salmo salar) est au moins trois fois plus élevée à pH 4,6 et deux fois plus élevée à pH 5,5 que pour l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis). Les résultats obtenus suggèrent la valeur de 100 µg/l d'aluminium total comme indication normative de la toxicité de ce métal pour les salmonidés dans des eaux inorganiques très douces. Les effets directs des précipitations acides sur la physiologie et la structure des populations de poissons sont cependant encore mal connus au Québec et le ministère des Pêches et des Océans suggère des avenues de recherche pour combler ces lacunes.

## ABSTRACT

Langlois, C., Y. Vigneault, A. Nadeau et A. Ahern. 1984. Préoccupations sur les effets des précipitations acides sur le poisson et son habitat au Québec. Rapp. man. can. sci. halieut. aquat. No. 1753: v + 19 p.

Since 1981, the Department of Fisheries and Oceans in Quebec has conducted a research program on the effects of acid precipitation on fish habitat. Results obtained to date indicate clearly that fish habitat quality is modified by acid deposits in the lakes of many regions in Quebec and in north shore salmon rivers. Laboratory and in-situ experimental research confirms salmonids vulnerability to acid rain. The abiotic mortality rate of brook trout (Salvelinus fontinalis) eggs in acid water (pH = 4,8) is 100% whereas it is as low as 15% in control water (pH = 6,8 ). Under controlled conditions in the laboratory, aluminium toxicity to atlantic salmon (Salmo salar) is three times as high at pH 4,6 and twice as high at pH 5,5 as it is to brook trout (Salvelinus fontinalis). Results suggest the value of 100 µg/l of total aluminum as the normative indicator for toxicity to salmonids in inorganic soft waters. Nevertheless, direct effects of acid precipitation on fish physiology and population structure are not known in Quebec and the Department of Fisheries and Oceans indentifies some research needs for the near future.

## AVANT-PROPOS

Dans le contexte de la recherche sur les précipitations acides au Québec, le ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) étudie les répercussions du Transport à Grande Distance des Polluants Aéroportés (TGDPA) sur le poisson et son habitat. Les études entreprises visent essentiellement à assumer les deux mandats prioritaires du MPO eu égard aux effets de l'acidification du milieu sur la faune aquatique. Le premier mandat consiste à protéger les poissons d'eau douce et anadromes et le second vise à assurer la pérennité des ressources en poissons d'intérêt sportif et commercial pour le bénéfice de la société canadienne et de son économie.

Ces deux mandats se distinguent nettement de ceux des autres intervenants gouvernementaux qui étudient les effets des précipitations acides sur le milieu aquatique. Environnement-Canada examine spécifiquement la qualité de l'eau (Direction générale des Eaux intérieures) et la qualité des habitats à sauvagine (Service canadien de la Faune). Le ministère de l'Environnement du Québec effectue par ailleurs principalement des études descriptives à caractère régional ou local sur la qualité de l'eau et les populations de poissons.

## INTRODUCTION

Les précipitations acides ont causé la disparition de populations de poissons sur de vastes portions de territoire dans plusieurs parties du monde. Les premiers cas ont été signalés en Norvège et en Suède où les eaux acides de nombreux cours d'eau ont décimé des populations entières de salmonidés. Plus près de nous, des observations similaires ont été faites dans des lacs acides de la région des monts Adirondack aux Etats-Unis et des monts La Cloche en Ontario. En Nouvelle-Ecosse, il a été démontré que le saumon atlantique a disparu de plusieurs rivières acides du sud-ouest de cette province.

Devant l'ampleur des répercussions sur le poisson constatée en Scandinavie et en Amérique du Nord, il devenait urgent de connaître l'étendue de ce problème dans les cours d'eau du Québec. C'est dans cette perspective que le ministère des Pêches et des Océans a entrepris en 1980 un programme de recherche dont les quatre objectifs principaux sont:

1° Évaluer la qualité physico-chimique de l'eau des lacs et des rivières du Québec;

2° Évaluer les effets de la modification de la qualité des habitats aquatiques sur les communautés biologiques, principalement les communautés de poissons;

3° Mesurer l'impact de l'acidification sur la reproduction et sur la survie des populations de poissons d'intérêt sportif et commercial;

4° Évaluer la toxicité des métaux sur les poissons dans différentes conditions de stress acide.

## LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES LACS ET DES RIVIERES DU QUEBEC

Pour évaluer la qualité des habitats du poisson au Québec, le MPO a procédé à un vaste programme d'échantillonnage physico-chimique de l'eau de lacs de tête et de rivières à saumons. Ces cours d'eau sont situés dans le territoire québécois à la fois le plus sensible aux précipitations acides et le plus affecté par des retombées acides. Tout ce territoire est compris sur le bouclier canadien, au sud du 52e parallèle et sur la rive nord du Saint-Laurent. En 1981 et 1982,

plus de 350 lacs ont été échantillonnés durant l'été, alors que 35 rivières à saumons l'ont été mensuellement ou bimensuellement entre juillet 1981 et août 1983.

Les résultats obtenus dans le cadre de ces inventaires ont montré clairement l'influence déterminante de la force de frappe des précipitations acides sur la physico-chimie de l'eau. Dans la région hydrographique de l'Outaouais, où le pH des précipitations est voisin de 4,2 et où le taux de retombées en sulfates varie entre 20 et 40 kg/ha, les concentrations en sulfates dans les lacs sont en moyenne 2 fois plus élevées que celles des lacs de la Mauricie, du Saguenay/Lac St-Jean et de l'Abitibi/Baie-James, et 5 fois plus élevées que celles des lacs de la Côte-Nord.

La sensibilité des cours d'eau aux effets de l'acidification est cependant étroitement liée aux caractéristiques géologiques et pédologiques de leur bassin de drainage. Compte tenu de l'assise de granite ou de gneiss granitique sur laquelle repose la majeure partie du territoire échantillonné, la capacité de résistance à l'acidification est généralement faible. Plus de 60% des lacs échantillonnés affichent un rapport alcalinité/ sulfates inférieur à 1, ce qui laisse supposer un remplacement dans l'eau des lacs des ions bicarbonates naturels par des ions sulfates provenant des précipitations. Ce déficit d'alcalinité est très marqué dans les lacs de la région hydrographique de la Côte-Nord, là où par contre la force de frappe est moindre. Seuls les lacs des régions de Chapais et d'Albanel, de même qu'une partie des lacs de Maniwaki et de Gagnon semblent à l'abri, à moyen terme, grâce à une grande réserve d'alcalinité qui leur confère une bonne capacité tampon.

Lorsque les réserves d'alcalinité et la capacité de résistance d'un cours d'eau sont grandes, des phénomènes saisonniers peuvent entraîner des fluctuations importantes des concentrations de certains paramètres physico-chimiques dans l'eau. On peut observer une détérioration temporaire mais potentiellement nocive pour le cycle de vie du poisson. Dans plusieurs rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent, le pH de l'eau diminue de plus de une unité au printemps et il est inférieur à 5,5 au mois de mai. C'est le cas notamment des rivières Matamek, aux Rochers, Pigou, aux Graines, à la Chaloupe, au Tonnerre, de la Corneille, Musquaro, Etamamiou et Gros Mécatina. Ces fluctuations saisonnières du pH, comme celles également observées pour l'alcalinité, sont étroitement liées aux variations de débit dans les rivières. On observe les pH les plus élevés en période d'étiage durant l'été et à la fin de l'hiver, alors que les pH les plus bas sont observés durant les pluies d'automne et juste après le début de la fonte printanière.

À la lumière des résultats obtenus, il apparaît donc clairement que les précipitations acides modifient substantiellement la qualité des habitats du poisson au Québec. Les modifications physico-chimiques de la qualité de l'eau sont particulièrement importantes dans certains lacs des régions hydrographiques de l'Outaouais, de l'Abitibi/Baie-James et de la Mauricie. Les fluctuations saisonnières enregistrées à l'embouchure de plusieurs rivières à saumons sur la Côte-Nord laissent par ailleurs supposer que les conditions pourraient devenir critiques pour le poisson dans les tributaires de tête de ces rivières, comme nous avons pu l'observer sur la rivière des Escoumins.

Malgré l'abondance de données physico-chimiques existantes sur la qualité de l'eau des cours d'eau du Québec, il existe toutefois des régions au Québec où les données sont insuffisantes pour évaluer le niveau de sensibilité ou le niveau d'acidification des lacs de ces régions. C'est le cas notamment des régions de la Baie-James et du Nouveau-Québec qui affichent une sensibilité géochimique très grande à l'acidification et où des données supplémentaires sont requises.

## LES EFFETS DE LA MODIFICATION DE LA QUALITÉ DES HABITATS AQUATIQUES SUR LES COMMUNAUTÉS BIOLOGIQUES

Pour connaître comment les communautés aquatiques du Québec sont affectées par les précipitations acides, nous avons procédé à des inventaires et à des études plus ponctuelles. Parmi les lacs échantillonnés pour la physico-chimie, des sous-échantillons de 40 et 54 lacs ont été inventoriés respectivement en 1981 et 1982 pour acquérir des données de base sur les communautés aquatiques. Ces données de base comprennent la composition spécifique et l'abondance des communautés de phytoplancton, zooplancton, benthos et poissons. Chez les poissons, les structures de taille et d'âge de même que l'analyse chimique des chairs ont également été observées pour les espèces dominantes. Des études plus spécifiques ont aussi été entreprises afin de cerner les influences régionales et temporelles. Ainsi, les effets des précipitations acides sur les relations trophiques d'un écosystème lacustre ont été comparés dans une région à fortes retombées acides (Maniwaki) et dans des régions à faibles retombées acides (Shefferville et Sept-Iles). Les variations dans la structure et la composition des communautés ont également été étudiées sur une base temporelle durant la saison estivale dans deux groupes de lacs de la région de Maniwaki; les lacs du premier groupe sont acides (pH < 6,0) et très vulnérables aux précipitations acides (alcalinité < 60 µéq/l) alors que ceux du second groupe sont alcalins (pH > 7,0) et peu vulnérables (alcalinité > 150 µéq/l).

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant sont insuffisants pour exprimer clairement comment les communautés lacustres sont affectées par l'acidification au Québec. Par exemple, il existe trop peu de données sur le poisson pour documenter la disparition de certaines espèces dans des lacs acides, comme il a été observé en Scandinavie, en Nouvelle-Angleterre, en Ontario et en Nouvelle-Ecosse. Les lacs québécois affichent toutefois les mêmes tendances en ce qui concerne la baisse de diversité des communautés à pH acide. Ainsi, parmi 50 lacs dont le pH s'échelonne entre 3,1 et 8,6, 80% des lacs dont le pH est inférieur à 5,0 n'abritent aucune population de poissons alors que plus de 75% de ceux dont le pH est supérieur à 5,0 renferment au moins une espèce. Cette baisse de la diversité pourrait être liée à d'autres facteurs que l'acidification, tels l'isolement biogéographique, la mortalité d'hiver ou l'aire de distribution des espèces, mais elle confirme des observations déjà signalées ailleurs.

Des scientifiques ont également observé une diminution de l'abondance des populations de poissons dans des lacs acides. Cette tendance a également été observée chez-nous où le rendement de pêche et le nombre de captures par unité d'effort diminuent avec le pH. En particulier, les abondances comparatives du doré dans les lacs acides des régions de Senneterre et de Némiscau et dans les lacs alcalins de la région de Chapais suscitent des interrogations. Cette espèce est parmi les plus sensibles à l'acidification du milieu et le pH critique pour la reproduction varie entre 5,5 et 6,0. En plus d'une baisse de la présence du doré dans les lacs acides de Senneterre et Némiscau, on observe une diminution marquée du nombre de captures par unité d'effort pour cette espèce comparativement aux lacs plus alcalins de la région de Chapais. Dans le lac George en Ontario, des augmentations des populations de perchaude ont été signalées parallèlement à la disparition des populations de doré. Dans notre étude, 80% des lacs échantillonnés dans la région de Senneterre et 60% de ceux de la région de Némiscau abritent une population de perchaude alors que c'est le cas pour seulement 25% des lacs de la région de Chapais.

Les concentrations de certains métaux dans les chairs de poissons, notamment le mercure, dépassent dans onze pour cent des cas (11%), les concentrations maximales admissibles pour la consommation. Chez le doré et le brochet, les teneurs médianes en mercure pour l'ensemble des spécimens analysés sont respectivement de 0,49 mg/kg et 0,62 mg/kg alors que la norme fixée par la Commission Conjointe

internationale est de 0,50 mg/kg. Compte tenu de l'aire de distribution de ces deux espèces dans l'ouest du territoire québécois, ce sont les régions de Némiscau, Senneterre, Chapais et Maniwaki qui sont les plus contaminées par le mercure. L'augmentation du lessivage des métaux par suite de l'acidification du milieu pourrait donc accentuer les problèmes de contamination des poissons par une accélération de la disponibilité du mercure, du manganèse et du cadmium.

La baisse de diversité et les variations d'abondance ont aussi été observées chez les communautés planctoniques. Il existe une relation très apparente entre l'abondance relative de quatre grands groupes de zooplancton et le pH du lac. L'abondance relative des rotifères augmente considérablement dans les lacs acides, celle des cladocères et des copépodes cyclopoïdes diminue et celle des copépodes calanoïdes reste stable.

Dans l'ensemble, les résultats disponibles restent insuffisants pour mesurer avec certitude les répercussions des précipitations acides sur les communautés lacustres du Québec. Peu de lacs ont été échantillonnés pour la biologie comparativement au nombre relativement élevé de lacs dont la physico-chimie est connue. Il existe trop peu de données sur la composition et la structure des populations de poissons et sur leur taux de contamination par les métaux. De nombreuses informations concernant les communautés benthiques et planctoniques restent à interpréter et à compléter pour connaître les effets sur les relations trophiques, de la modification des habitats aquatiques par les précipitations acides.

## L'IMPACT DE L'ACIDIFICATION SUR LA REPRODUCTION ET LA SURVIE DES POPULATIONS DE POISSONS

La plupart des études soulignent que la principale cause de la disparition des populations de poissons par suite des précipitations acides est l'insuccès de reproduction associé à la baisse du recrutement. Les jeunes poissons sont plus sensibles à l'acidité que les adultes de la même espèce et la maturation de leurs oeufs peut être affectée. Afin de mesurer cet impact au Québec, nous avons entrepris des études *in situ* sur le taux de mortalité des oeufs et des alevins d'omble de fontaine et de saumon atlantique dans des conditions de stress acide. Une étude en cours dans le bassin versant de la rivière des Escoumins, sur la Côte-Nord, permettra par ailleurs d'évaluer la capacité de résistance des sites de frai du saumon atlantique face aux effets nocifs des précipitations acides. Enfin, nous participons au programme conjoint de recherche dans le bassin versant expérimental du lac Laflamme, dans le parc des Laurentides, en y étudiant la dynamique de la population d'omble de fontaine et sa capacité de reproduction.

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant dans ces diverses études confirment la vulnérabilité des populations de poissons. Dans quelques lacs de la région de Charlevoix, le taux de mortalité des oeufs d'omble de fontaine en milieu acide (pH 4,8) atteint 100% alors qu'il n'est que de 15% en milieu témoin (pH 6,8). La mortalité commence dès les premiers stades de clivage où elle peut atteindre 60% des individus à pH 4,4; elle est presque inexistante pendant les stades embryonnés mais atteint 100% au moment de l'éclosion à pH 4,8. Le développement des oeufs et l'éclosion sont beaucoup plus rapides à pH 6,8 qu'à pH 4,8. La mortalité en milieu acide serait principalement due aux ions hydrogène, avec un effet possible des fortes concentrations de métaux lourds dans l'eau au printemps.

L'étude de la population d'omble de fontaine du lac Laflamme a d'autre part révélé que la structure d'âge de cette population a été profondément modifiée par suite de la mortalité massive survenue au printemps 1981. La population renferme trop peu d'individus d'âge $1^+$ et $2^+$. Les causes de cette mortalité

d'hiver ("Winterkill") ne sont pas tout à fait indépendantes des précipitations acides. Durant le mois d'avril précédant cette mortalité, le pH du lac est descendu jusqu'à 4,6; les concentrations en oxygène dissous à plus de deux mètres de profondeur étaient inférieures à 2 mg/L (< 5% de saturation) et les concentrations en aluminium ont plus que doublé, atteignant 210 ug/l. D'autres scientifiques ont indiqué que de telles mortalités massives observées au printemps sont probablement le résultat de concentrations élevées en aluminium inorganique mobilisé dans les sols par les acides présents dans l'eau de fonte. Un examen pathologique effectué sur 8 spécimens provenant du lac Laflamme a d'ailleurs révélé des lésions aux lamelles branchiales caractéristiques de celles induites par des concentrations d'aluminium.

Dans le bassin versant de la rivière des Escoumins, les fluctuations de la qualité de l'eau sont beaucoup plus importantes dans les tributaires de tête, où sont très souvent situés les sites de fraie du saumon atlantique, que dans le tronc principal de la rivière. Dans certains tributaires, le pH peut baisser de 0,5 unité en 5 jours (6,48 à 5,90 entre le 15 et le 20 avril 1982) pendant que les concentrations d'aluminium total peuvent atteindre 350 ug/l. L'effet de ces fluctuations sur la survie et le développement des oeufs du saumon atlantique est présentement à l'étude à l'aide d'un montage expérimental in situ.

L'impact de l'acidification sur la reproduction et la survie de plusieurs espèces autres que les salmonidés est toutefois inconnu au Québec. Il faut penser principalement aux autres espèces les plus vulnérables à l'acidité: l'achigan à petite bouche et le doré. Ces deux espèces se rencontrent surtout dans l'ouest du territoire, là où la force de frappe des précipitations acides est la plus grande.

## LA TOXICITÉ DES MÉTAUX SUR LES POISSONS DANS DIFFERENTES CONDITIONS DE STRESS ACIDE

Les précipitations acides favorisent une libération des métaux des sols et sous-sols relativement acides vers le milieu aquatique environnant. Les ions métalliques ainsi libérés dans les eaux d'un cours d'eau peuvent atteindre des concentrations toxiques pour les poissons. Cette toxicité varie cependant beaucoup en fonction du pH et des différentes formes ioniques du métal considéré. Parmi les métaux susceptibles d'être mobilisés par le processus d'acidification, l'aluminium est celui dont la concentration dans les cours d'eau acidifiés est le plus potentiellement toxique.

Dans une étude réalisée en laboratoire, nous avons évalué la toxicité de l'aluminium chez les salmonidés en simulant les conditions physico-chimiques des eaux du bouclier canadien affectées par les précipitations acides. Ces expérimentations ont été effectuées sur des saumons atlantiques et des ombles de fontaine d'âge $1^+$ et $2^+$. Les doses létales et sublétales ont été déterminées pour chacune des espèces, les formes chimiques toxiques de l'aluminium ont été examinées et certaines réponses physiologiques des poissons ont été enregistrées durant les bio-essais.

Les résultats obtenus démontrent que la toxicité de l'aluminium pour le saumon atlantique est au moins 3 fois plus élevée à pH 4,6 et deux fois plus élevée à pH 5,5 que pour l'omble de fontaine. La dose létale pour le saumon atlantique (concentration létale pour 50% des individus après 7 jours à 10°C) varie entre 100 et 650 ug/L selon les différentes conditions d'expérimentation; celle de l'omble de fontaine varie entre 480 et 945 ug/L dans les mêmes conditions. Les tests de préférence et de détection effectués sur l'omble de fontaine ont démontré que la dose sublétale (concentration efficace entraînant une réponse comportementale chez 50% des individus après 30 minutes à 10°C) varie entre 120 et 1 220 ug/L selon les conditions

d'expérimentation. En conditions inorganiques, c'est la forme labile de l'aluminium, bioéchangeable et potentiellement toxique, qui est la plus abondante. La présence de matière organique dans les eaux peut toutefois neutraliser en partie l'effet toxique de l'aluminium. Les effets physiologiques sur les poissons se sont manifestés par une bioaccumulation d'aluminium dans les branchies, laquelle entraînerait une augmentation importante de la consommation en oxygène en condition de stress acide. Compte tenu du niveau de toxicité létale et sous-létale de l'aluminium pour les deux espèces étudiées, il appert que la valeur de 100 ug/L d'aluminium total peut être considérée comme une indication normative de la toxicité de ce métal pour les salmonidés dans des eaux inorganiques très douces typiques des cours d'eau du bouclier canadien. Les concentrations d'aluminium total, enregistrées dans les lacs et les rivières à saumons inventoriés depuis 1981, dépassent souvent ce seuil de 100 ug/L d'aluminium total.

D'autres métaux sont lessivés par les précipitations acides et sont susceptibles d'atteindre des concentrations potentiellement toxiques pour les poissons. C'est le cas notamment du cadmium et du manganèse qui atteignent des concentrations élevées dans les rivières à saumons de la Côte-Nord. La toxicité de ces métaux a cependant été très peu étudiée à ce jour et celle des métaux pour d'autres espèces que les salmonidés reste très peu connue autant au Québec qu'ailleurs au Canada.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Compte tenu de ces considérations, la qualité de l'eau dans les lacs et rivières du Québec est assez bien connue, du moins dans le territoire québécois le plus sensible aux précipitations acides (bouclier canadien au sud du 52e parallèle). La composition et l'abondance des communautés aquatiques, plus spécifiquement en ce qui a trait aux populations de poissons, sont cependant encore trop peu connues pour que l'on puisse identifer les effets directs de l'acidification sur ces communautés au Québec. Des données additionnelles sont requises sur la structure des populations et sur la réponse physiologique des poissons face à un stress acide avant d'être en mesure d'évaluer le niveau actuel d'affectation par les précipitations acides des ressources de poissons du Québec.

Le Québec est la province canadienne dont la plus grande partie du territoire est vulnérable aux précipitations acides. À cause de sa localisation géographique au nord-est et à l'est des principales sources d'émissions d'anhydride sulfureux (Rouyn-Noranda au Québec, Sudbury en Ontario, Chicago, Détroit, Cleveland et plusieurs autres villes des états du mid-west des Etats-Unis), le territoire québécois est directement menacé par les retombées acides. Magré cet état de fait, la recherche sur les effets du Transport à Grande Distance des Polluants Aéroportés (TGDPA) a été relativement modeste au Québec en comparaison de celle effectuée dans d'autres provinces canadiennes. Il y a eu en 1983 deux fois plus d'études sur les précipitations acides subventionnées en Ontario (168) qu'au Québec (76). En terme de coût, il y a eu près de 3 fois plus de fonds de recherche dépensés en Ontario (11,3 millions) qu'au Québec (4,3 millions).

Afin de combler les lacunes identifiées précédemment dans la recherche sur les effets des précipitations acides sur le milieu aquatique québécois, nous recommandons donc que des études soient entreprises ou poursuivies dans les domaines de recherche suivants:

1- Entreprendre un inventaire de la qualité de l'eau des lacs et des rivières de la Baie-James et du Nord québécois, afin de compléter l'évaluation globale de la qualité des habitats du poisson au Québec.

2- Poursuivre la surveillance périodique de la qualité de l'eau des rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent.

3- Poursuivre l'échantillonnage expérimental des communautés de poissons dans les régions les plus affectées par les précipitations acides, afin d'augmenter la quantité d'information disponible sur la composition et la structure des populations de même que sur leur taux de contamination par les métaux.

4- Interpréter les données disponibles sur les communautés benthiques et planctoniques et acquérir des données complémentaires, afin de préciser les effets sur les relations trophiques de la modification des habitats par les précipitations acides.

5- Poursuivre les études de tolérance à l'acidification du saumon atlantique sur ses lieux de reproduction afin d'évaluer sa capacité de survie dans les rivières très sensibles de la Côte-Nord du Saint-Laurent.

6- Entreprendre des études sur la reproduction et la survie en milieu acide de certaines espèces vulnérables qui n'ont été que peu étudiées jusqu'à maintenant, dont principalement le doré, l'achigan à petite bouche et l'omble chevalier.

7- Entreprendre des études sur la toxicité du manganèse et du cadmium pour les salmonidés, compte tenu des concentrations élevées de ces deux métaux dans l'eau des rivières à saumons de la Côte-Nord.

8- Entreprendre des études sur la toxicité des métaux sur des espèces d'intérêt sportif autres que les salmonidés, telles le doré et l'achigan à petite bouche.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient toutes les personnes qui ont collaboré aux différentes étapes de réalisation de ce mémoire. Nous soulignons plus spécifiquement l'excellent travail exécuté par M. Lionel Corriveau qui a réalisé le graphisme dans un temps record, et par M. Viateur Dubé qui a produit les photographies nécessaires à la présentation avec autant de célérité. Nous soulignons aussi l'aide apportée par M. Bruno-Pierre Harvey et Mad. Josée Deguise dans la préparation des illustrations.

BIBLIOGRAPHIE

Almer, B., W. Dickson, C. Ekstrom et E. Hornstrom, 1978. Sulfur pollution and the aquatic ecosystem. In: Sulfur in the environment. Part II. Ecological impacts. Edited by J.O. Nriagu. J. Wiley and Sons inc., New York, pp. 271-311.

Beamish, R.J., 1976. Acidification of lakes in Canada by acid precipitation and the resulting effects on fish. Water Air Soil Pollut., 6: 501-514.

Beamish, R.J., G.A. McFarlane, J.C. Vanloon and J. Lichwa, 1975. An examination of the possible effect of Sudbury nickel mining and smelting operation on fishes and the water chemistry of lakes within the Whitefish Indian Reserve. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., 579, 52 pp.

Beamish, R.J., 1974. The loss of fish populations from unexploited remote lakes in Ontario, Canada as a consequence of atmospheric fall out of acid. Water Res. 8: 85-95.

Brouard, D., M. Lachance et C. Langlois, 1983. Qualité physico-chimique printanière des eaux de surface et des précipitations dans le secteur amont de la rivière des Escoumins. Rapp. techn. can. sci. halieut. aquat. No 1228: vii + 39 p.

Driscoll, C.T. Jr., J.P. Baker, J.J. Jr. Bisogni et C.L. Schofield, 1980. Aluminium speciation in dilute acidified waters and its effects on fish. Nature (London), 284: 161-164.

Environnement Canada, 1983. Catalogue des activités de recherche au Canada sur le TGDPA. Environnement Canada.

Haines, T.A., 1981. Acidic Precipitation and its Consequences for Aquatic Ecosystems: A Review: Transactions of the American Fisheries Society 110: 669-707.

Harvey, H.H., R.C.P. Pierce, P.J. Dillon, J.R. Kramer & D.M. Whelpdale, 1981. Acidification in the Canadian Aquatic Environment: Scientific Criteria for Assessing the Effects of Acidic Deposition on Aquatic Ecosystems. Conseil national de recherches du Canada. 369 p. Publ. No NRCC 18475.

Jensen, K.W. et E. Snekvik, 1972. Low pH levels wipe out salmon and trout populations in southern Norway. Ambio, 1: 223-225.

Langlois, C., A. Lemay, J. Ouzilleau et Y. Vigneault, 1984. Qualité physico-chimique de 251 lacs du bouclier canadien (Québec). Rapp. techn. can. sci. halieut. aquat. (en préparation).

Langlois, C., Y. Vigneault, L. Désilets, A. Nadeau et M. Lachance, 1983. Évaluation des effets de l'acidification sur la physico-chimie et la biologie des lacs du bouclier canadien (Québec). Rapp. techn. can. sci. halieut. aquat. No 1233: xii + 129 p.

Leclerc, J., Y.C. Chagnon, C. Langlois et P. Dulude, 1984. Influence de l'acidification sur la survie et le développement des oeufs et des alevins vésiculés d'omble de fontaine dans la région de Charlevoix (Québec). Rapp. techn. can. sci. halieut. aquat. (en préparation).

Leivestad, H., I.P. Muniz et B.O. Rosseland, 1980. Acid stress in trout from a dilute mountain stream. p. 318-319. In: Drablos, D. & A. Tollan (Eds.). Ecological impact of acid precipitation, SNSF-Project, Sandefjord, Norway.

Leivestad, H., G. Hendrey, I.P. Muniz et E. Snekvik, 1976. Effects of acid precipitation on freshwater organisms. In: Brakke, F.H. (ed.). Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. pp. 87-111, SNSF-Project.

Muniz, I.P., H. Leivestad, 1980. Acidification - Effects on freshwater fish. Proc. int. Conf. Ecological Impact of Acid Precipitation, Norway, 1980. SNSF-Project edited by D. Drablos and A. Tollan. pp. 84-92.

Nadeau, A., C. Desjardins et Y. Vigneault, 1984. Teneurs en métaux et en ions majeurs des chairs de poissons de trente-deux lacs du Québec. Rapp. man. can. sci. halieut. aquat. No 1746: vii + 78 p.

Nadeau, A., 1983. Inventaire biologique 1982 des lacs du Québec dans le cadre des études des effets des précipitations acides. Résultats ichtyologiques. Pêches et Océans, Québec. Rapport préliminaire, 77 pp.

Pêches et Océans/Service canadien de la Faune/I.E.C. Beak Consultants Ltd, 1983. Projet de recherche en cours. Données non publiées.

Shilts, W.W., 1981. Sensibilité de la roche en place aux précipitations acides, modifications dues aux phénomènes glaciaires. Commission géologique du Canada. Étude 81-14, 7 p. + 3 cartes.

Schofield, C.L., 1976. Acid precipitation: Effects on fish. Ambio, 5 (5-6): 228-230.

Schofield, C.L. and J. Trojnar, 1980. Aluminum Toxicity to Brook Trout, Salvelinus fontinalis in Acidified Waters. In: Polluted Rain. T.Y. Toribara, M.W. Miller and P.E. Morrow, editors. Environmental Science Research, Plenum Press, New York 17: 347-366.

Spry, D.J., C.M. Wood et P.V. Hodson, 1981. The effects of environmental acid on freshwater fish with particular reference to the softwater lakes in Ontario and the modifying effects of heavy metals. A literature review. Department of Fisheries and Oceans, Great Lakes Biolimnology Laboratory, Canada Centre for Inland Waters, Burlington (Ontario), and Department of Biology, McMaster University, Hamilton. Can. Tech. Rep. on Fish. and Aquat. Sc., No 995. 145 p.

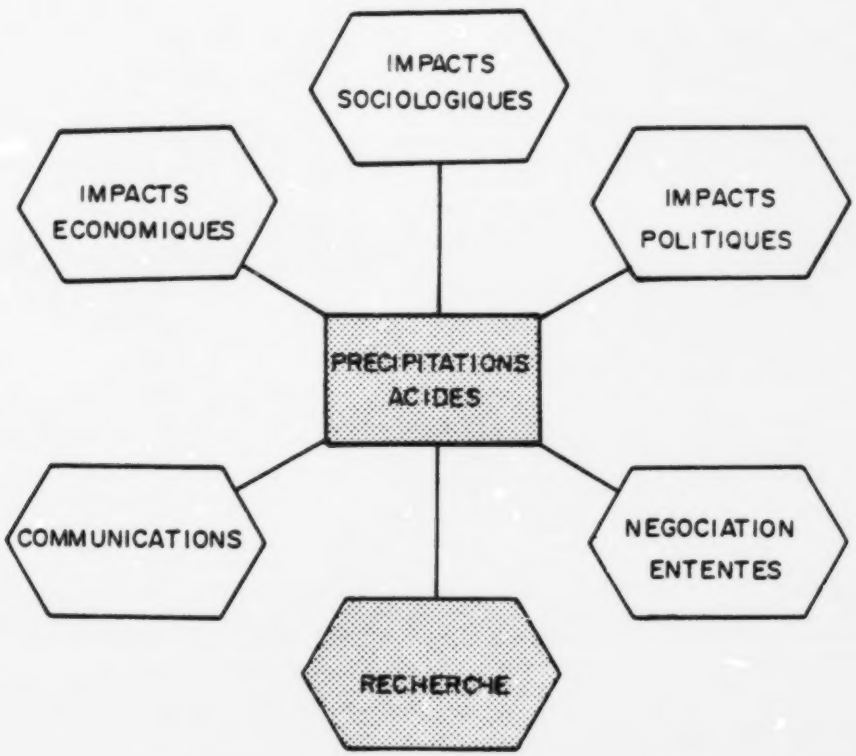
Van Coillie, R., C. Theilen, P.G.C. Campbell et Y. Vigneault, 1983. Effets toxiques de l'aluminium chez les salmonidés en relation avec des conditions physico-chimiques acides. Rapp. techn. can. sci. halieut. aquat. No 1237: ix + 88 p.

Verreault, G. et C. Langlois, 1984. Étude de la population d'omble de fontaine Salvelinus fontinalis (Mitchill) du lac Laflamme, parc des Laurentides (Québec). Rapp. techn. can. sci. halieut. aquat. (en préparation).

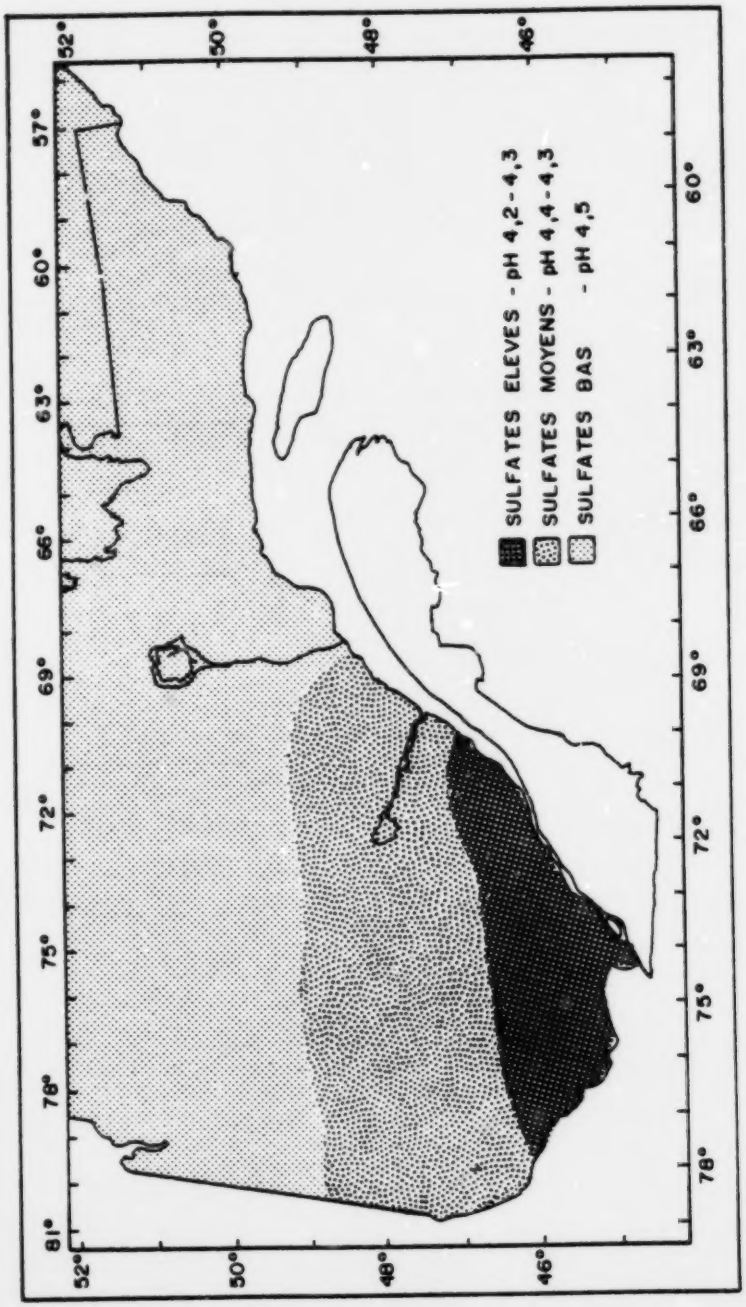
Watt, W.D., C.D. Scott and W.J. White, 1983. Evidence of acidification of some Nova Scotian rivers and its impact on Atlantic salmon, Salmo salar. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 462-473.

ANNEXES

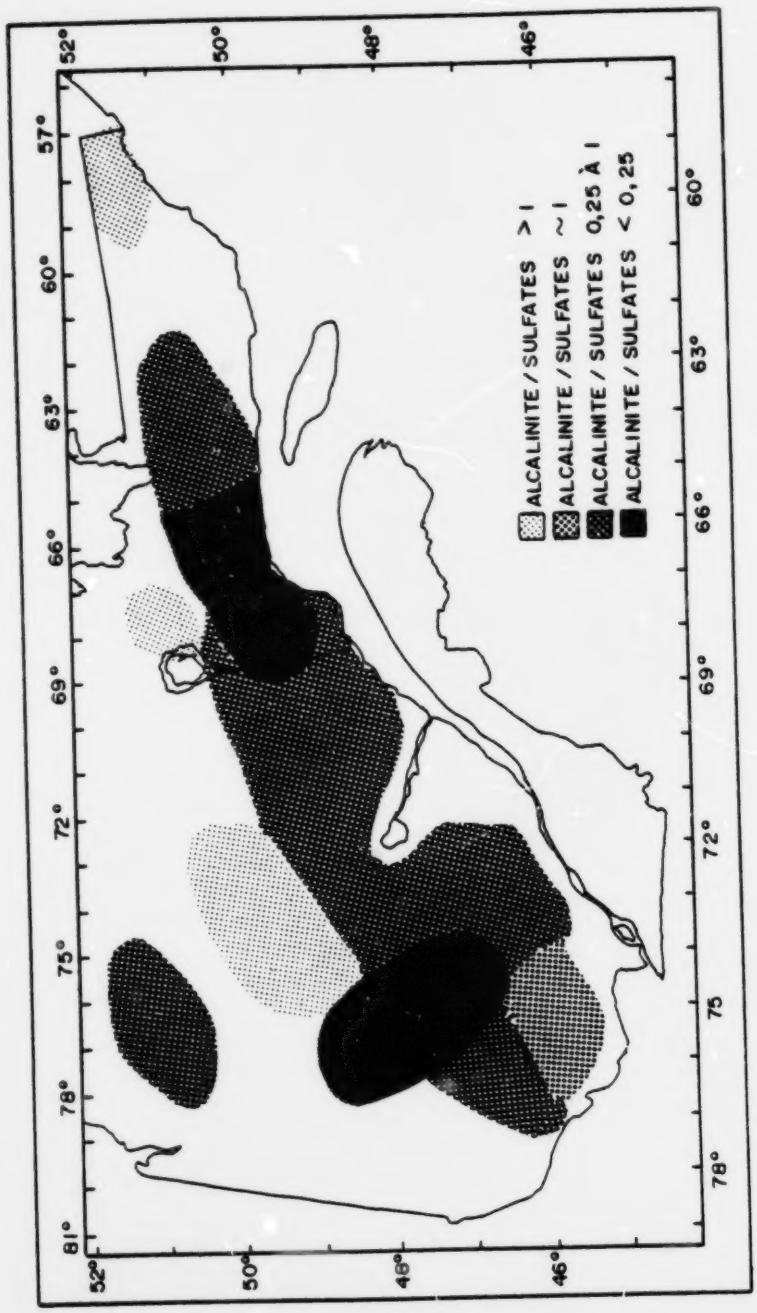
ANNEXE 1. Interaction entre la recherche et les principaux domaines de préoccupations sur les précipitations acides.



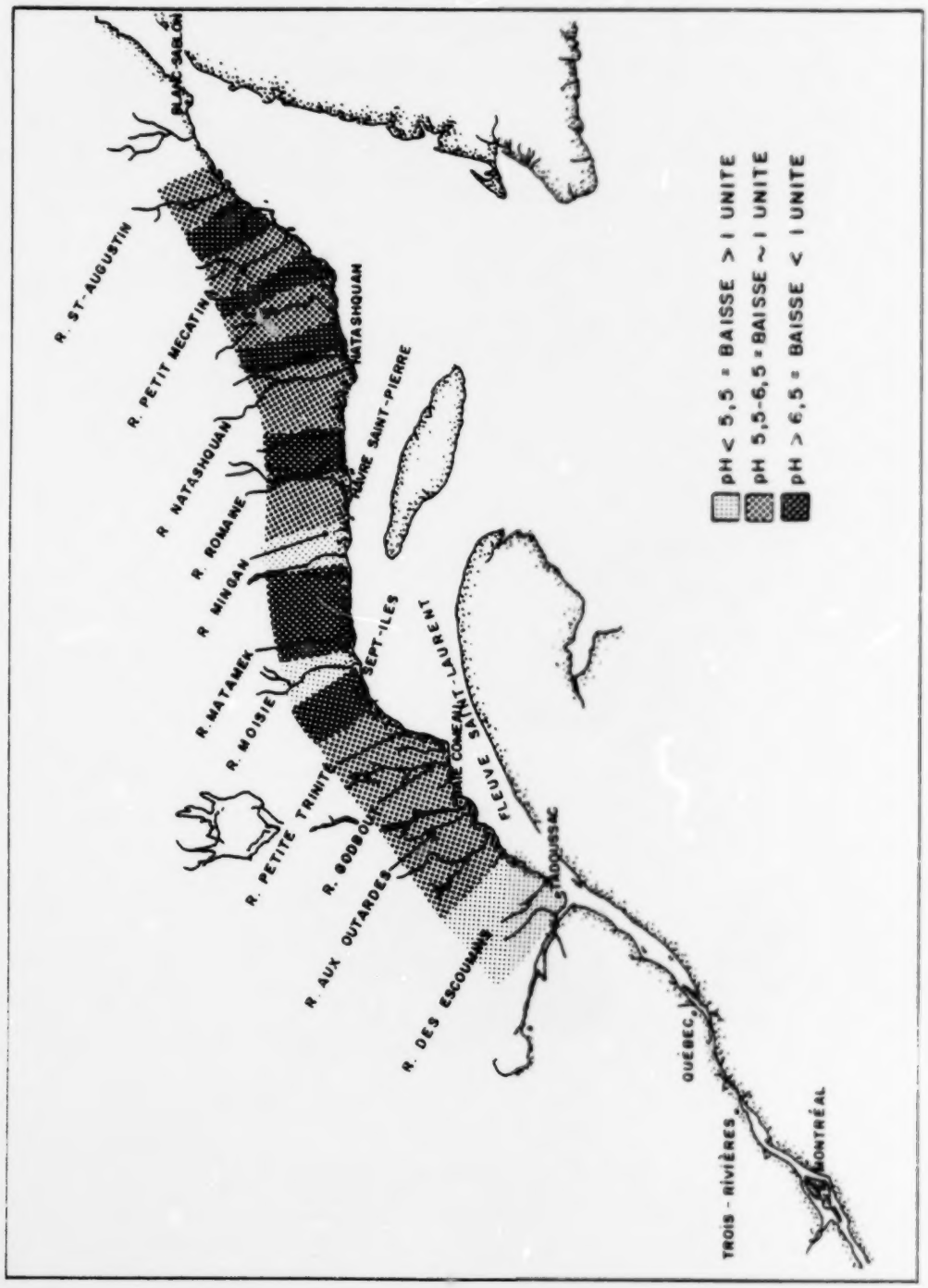
ANNEXE 2. Force de frappe des précipitations acides au Québec méridional (tiré de CANSAP 1980).



ANNEXE 3. Effets des précipitations acides sur la physico-chimie des lacs (tiré de Langlois et coll., 1983 et 1984).



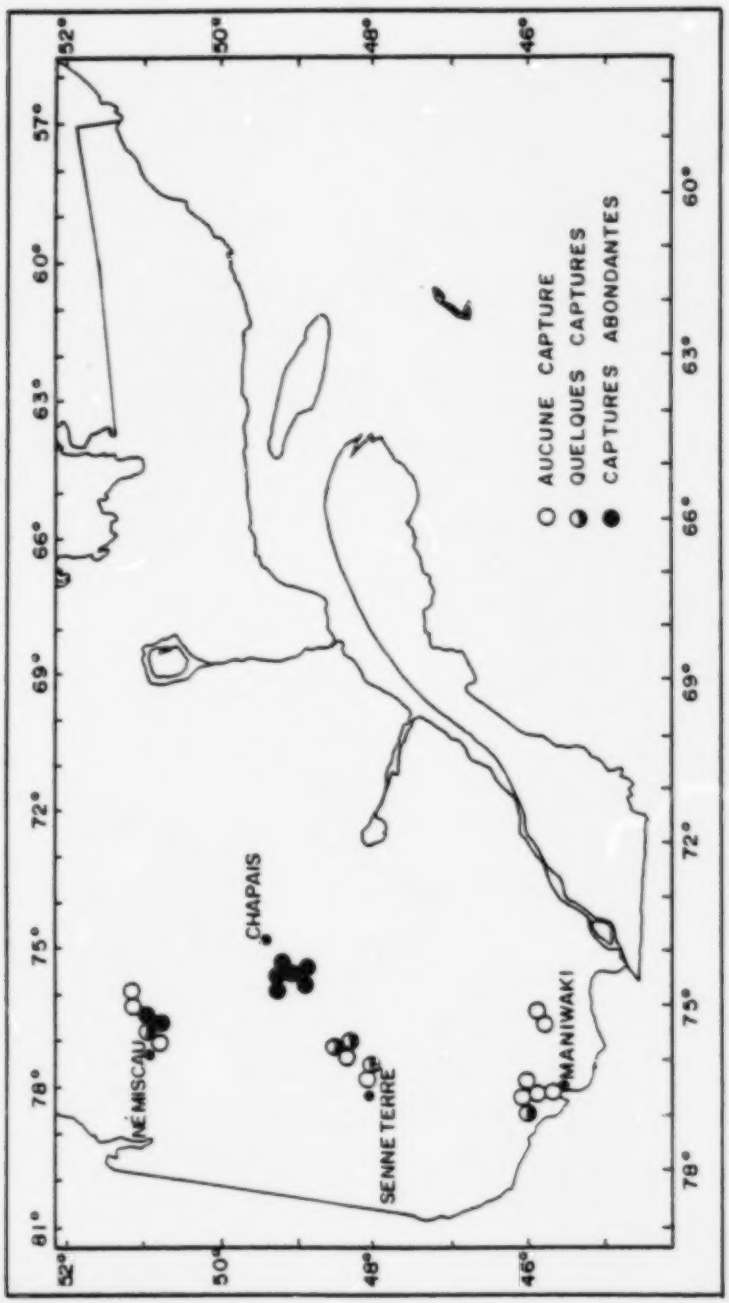
ANNEXE 4. pH printanier des rivières à saumons de la côte nord du Saint-Laurent (source: Ministère des Pêches et des Océans, région du Québec, données non publiées).



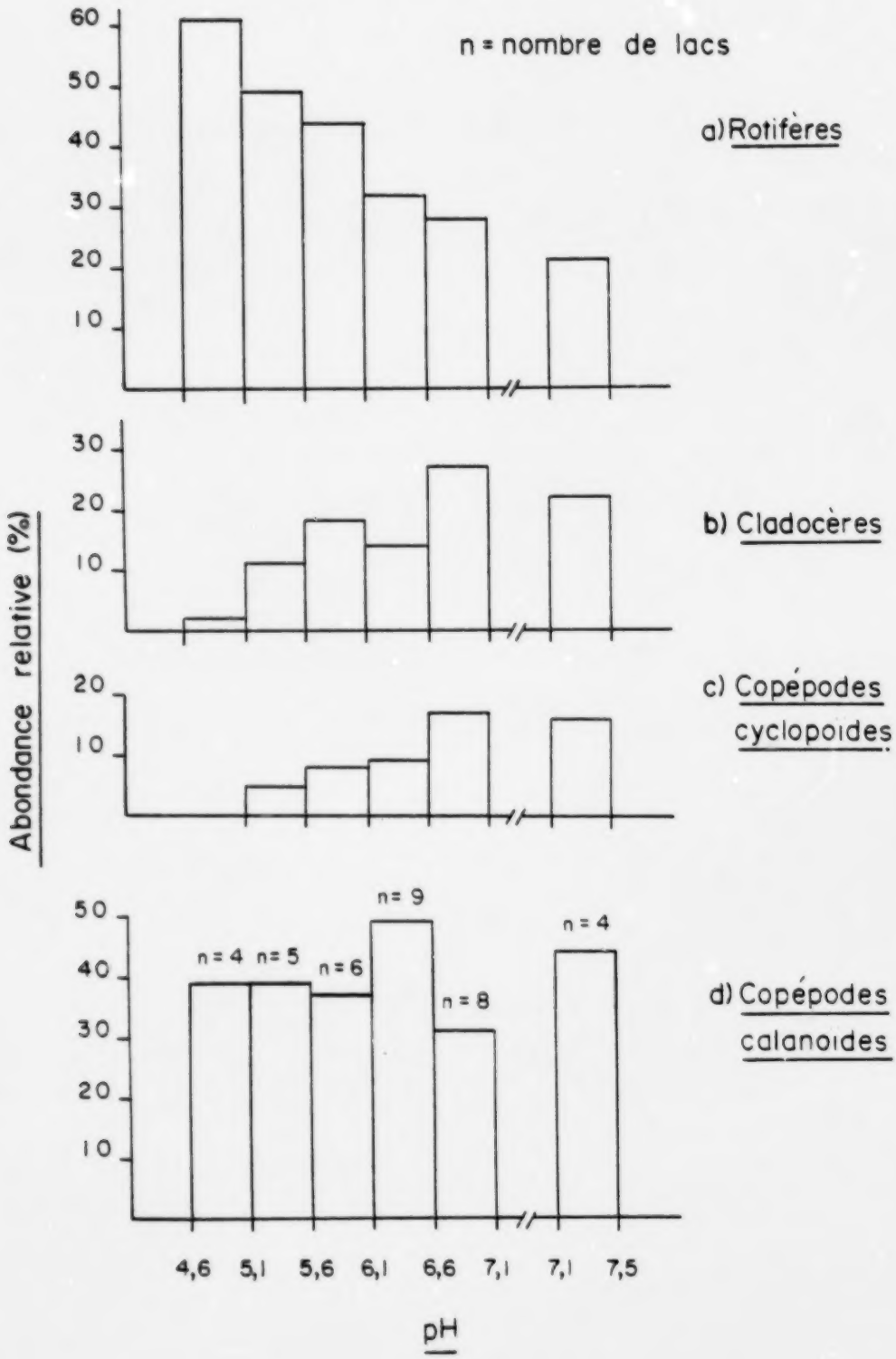
ANNEXE 5. Influence du pH sur le nombre d'espèces de poissons par lac (source: Ministère des Pêches et des Océans/Service canadien de la Faune/IEC Beaks Consultants Ltd., données non publiées).

| pH / ESPECE | < 4,0 | 4,0 - 4,9 | 5,0 - 5,9 | > 6,0 | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| Absence | 4 | 4 | 7 | 2 | 17 |
| Une | - | 1 | 2 | 4 | 7 |
| Deux | 1 | - | 1 | 1 | 3 |
| + de deux | - | - | 5 | 18 | 23 |
| TOTAL | 5 | 5 | 15 | 25 | 50 |

ANNEXE 6. Abondance comparative du doré dans l'ouest du Québec (tiré de Nadeau, 1983).



ANNEXE 7. Abondance relative de différents groupes de zooplancton en fonction du pH (tiré de Langlois et coll., 1983).



ANNEXE 8. Toxicité létale de l'aluminium pour le saumon atlantique et la truite mouchetée (tiré de Van Coillie et coll., 1983).

| TOXICITÉ LÉTALE DE L'ALUMINIUM<br>CL 50 - 7 jours à 10°C: µg/L | | | |
|---|---|---|---|
| pH moyen | Dureté de l'eau | Saumon atlantique | Truite mouchetée |
| 4,6 | Douce | 280 | 940 |
| | Très douce | 100 | 840 |
| 5,5 | Douce | 375 | 840 |
| | Très douce | 170 | 480 |

ANNEXE 9. Répartition du nombre d'études sur les précipitations acides par région (tiré de Environnement Canada, 1983).

| REGIONS / DOMAINE D'ÉTUDE | QUEBEC | ONTARIO | MARITIMES |
|---|---|---|---|
| Atmosphère | 18 | 52 | 13 |
| Émissions | 2 | 24 | 4 |
| Effets aquatiques | 38 | 47 | 29 |
| Effets terrestres | 16 | 31 | 8 |
| Modélisation | 2 | 5 | 5 |
| Santé | 0 | 9 | 1 |
| TOTAL | 76 | 168 | 60 |